

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-059841
 (43)Date of publication of application : 28.02.2003

(51)Int.Cl. H01L 21/205
 B01J 19/08
 C23C 16/509
 H01L 21/3065
 H05H 1/46

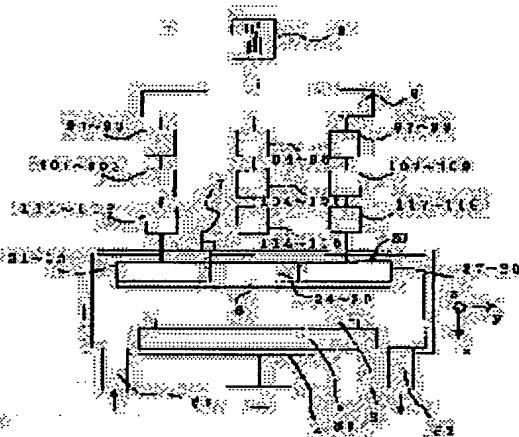
(21)Application number : 2001-246149 (71)Applicant : SHARP CORP
 (22)Date of filing : 14.08.2001 (72)Inventor : INAMASU TAKASHI
 WADA KENJI
 MORITA HARUYUKI

(54) APPARATUS AND METHOD FOR PLASMA TREATMENT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an apparatus for plasma treatment, capable of increasing the size of the treatment area, improving the treatment speed and improving the treatment quality.

SOLUTION: The apparatus for plasma treatment comprises a reaction vessel 4, a high-frequency electrode 20 provided in the vessel 4, and a dielectric 6 associated with the electrode 20. The electrode 20 has a plurality of small electrodes 21 to 24 separated from each other. High-frequency voltages, applied to at least two of the electrodes 21 to 24, are different in phases from each other. The dielectric 6 is protruded to the plasma-generating atmosphere side with respect to the electrodes 21 to 24. The strength distribution of an electric field which is applied by the electrode 20 can be made uniform by the dielectric 6.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2003-59841

(P2003-59841A)

(43)公開日 平成15年2月28日 (2003.2.28)

(51) Int.Cl.
H 01 L 21/205
B 01 J 19/08
C 23 C 16/509
H 01 L 21/3065
H 05 H 1/46

識別記号

F I
H 01 L 21/205
B 01 J 19/08
C 23 C 16/509
H 05 H 1/46
H 01 L 21/302

4 G 075
H 4 K 030
5 F 004
M 5 F 045
B

テマコト(参考)

審査請求 未請求 請求項の数16 OL (全13頁)

(21)出願番号 特願2001-246149(P2001-246149)

(71)出願人 000005049

シャープ株式会社

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号

(22)出願日 平成13年8月14日 (2001.8.14)

(72)発明者 稲増 崇

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ
ヤープ株式会社内

(72)発明者 和田 健司

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ
ヤープ株式会社内

(74)代理人 100064746

弁理士 深見 久郎

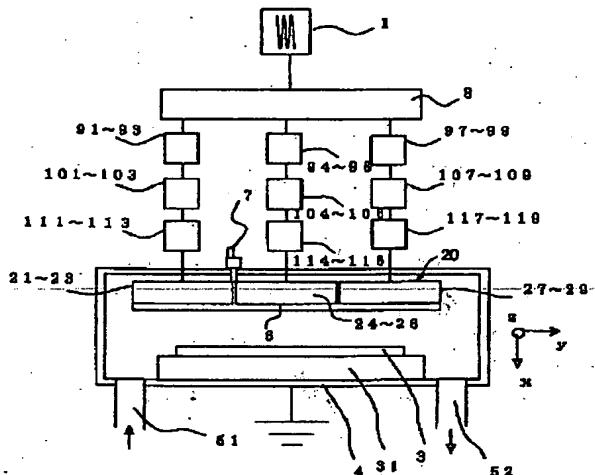
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 プラズマ処理装置およびプラズマ処理方法

(57)【要約】

【課題】 処理面積の大型化、処理速度の向上、および処理品質の向上が可能な、プラズマ処理装置を提供する。

【解決手段】 プラズマ処理装置は、反応容器4、その中に設けられた高周波電極20、および高周波電極20に組合せられた誘電体6を有する。高周波電極20は、互いに離された複数の小電極21～29からなる。小電極21～29のうち少なくとも2つにそれぞれ印加される高周波電圧は、大きさが互いに異なる。誘電体6は、小電極21～29に対してプラズマ生成雰囲気側に突出している。誘電体6により、電極20によって印加される電界の強度分布が均一化できる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 反応容器内において高周波電圧の印加により発生させられたプラズマにより所定の部材に処理を行う装置であって、

前記反応容器内に設けられた、互いに離された複数の小電極からなる、前記高周波電圧を印加するための電極と、

前記複数の小電極の間に挿入され、前記プラズマが発生させられる雰囲気よりも高い誘電率を有する誘電体とを備え、

前記複数の小電極のうち少なくとも2つにそれぞれ印加される高周波電圧は、大きさが互いに異なるものであり、

前記誘電体の前記雰囲気に対向する面と前記複数の小電極の前記雰囲気に対向する面との距離を変えることができるよう、前記誘電体の一部または全部が、前記複数の小電極に対して相対的に移動可能に設けられることを特徴とする、プラズマ処理装置。

【請求項2】 前記誘電体の前記雰囲気に対向する面が、前記所定の部材に対向することを特徴とする、請求項1に記載のプラズマ処理装置。

【請求項3】 前記複数の小電極から前記雰囲気の側に前記誘電体の一部または全部を突出させることができることを特徴とする、請求項1または2に記載のプラズマ処理装置。

【請求項4】 前記複数の小電極から前記雰囲気の側に前記誘電体の一部または全部を10mm以下の長さで突出させることができることを特徴とする、請求項3に記載のプラズマ処理装置。

【請求項5】 前記複数の小電極から前記雰囲気の側に前記誘電体を突出させる長さが、部分的に異なっていることを特徴とする、請求項3または4に記載のプラズマ処理装置。

【請求項6】 前記誘電体は、複数の部分に分割されており、該複数の部分のうち少なくとも1つが移動可能であることを特徴とする、請求項1～5のいずれか1項に記載のプラズマ処理装置。

【請求項7】 前記複数の小電極の各々に隣接して、前記複数の部分の各々が、互いに離れて設けられていることを特徴とする、請求項6に記載のプラズマ処理装置。

【請求項8】 前記誘電体の互いに隣接する複数の部分の間には、導電体が配置されていることを特徴とする、請求項7に記載のプラズマ処理装置。

【請求項9】 前記誘電体の比誘電率が3以上50以下であることを特徴とする、請求項1～8のいずれか1項に記載のプラズマ処理装置。

【請求項10】 前記誘電体の材質が、アルミナ磁器、石英、ガラス、ベリリア磁器、および炭化シリコン系磁器よりなる群から選ばれた少なくとも1種であることを特徴とする、請求項1～9のいずれか1項に記載のプラ

ズマ処理装置。

【請求項11】 前記複数の小電極の最大寸法が、前記高周波の波長の1/4以下であることを特徴とする、請求項1～10のいずれか1項に記載のプラズマ処理装置。

【請求項12】 前記高周波電圧の周波数が20～500MHzの範囲にあることを特徴とする、請求項1～11のいずれか1項に記載のプラズマ処理装置。

【請求項13】 プラズマCVD装置であることを特徴とする、請求項1～12のいずれか1項に記載のプラズマ処理装置。

【請求項14】 反応容器内において高周波電圧の印加により発生させられたプラズマにより所定の部材に処理を行う方法であって、

互いに離された複数の小電極からなる電極が前記高周波電圧を印加するために前記反応容器内に設けられ、かつ前記プラズマが発生させられる雰囲気よりも高い誘電率を有する誘電体が前記複数の小電極の間に挿入された装置を使用すること、

前記反応容器内に前記プラズマを発生させるための雰囲気を形成すること、

前記複数の小電極にそれぞれ高周波電圧を印加することにより前記雰囲気から発生させられるプラズマを介して所定の部材を処理することとを備え、

前記複数の小電極のうち少なくとも2つにそれぞれ印加される高周波電圧は、大きさが互いに異なるものであり、

前記誘電体の前記雰囲気に対向する面と前記複数の小電極の前記雰囲気に対向する面との距離を変えることができるよう、前記誘電体の一部または全部が、前記複数の小電極に対して相対的に移動可能に設けられることを特徴とする、プラズマ処理方法。

【請求項15】 前記高周波電圧の周波数が20～500MHzの範囲にあることを特徴とする、請求項14に記載のプラズマ処理方法。

【請求項16】 プラズマCVD法により、最大寸法が1m以上である基板上に10%以内の厚み分布で薄膜を形成することを特徴とする、請求項14または15に記載のプラズマ処理方法。

40 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、プラズマ処理装置およびプラズマ処理方法に関し、具体的には、被処理部材に対し膜堆積、エッチングあるいは表面改質を行うのに好適なプラズマ処理装置およびプラズマ処理方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 今日、半導体装置の製造プロセスにおいて、プラズマエネルギーを利用した薄膜堆積、エッチング、表面改質等の処理が必要不可欠になっている。これ

らのプラズマ処理工程では、液晶ディスプレイや太陽電池等の半導体装置の大型化、および処理能力向上の要求に対応した被処理面積の大型化や処理速度の向上、そして処理品質の向上が重要な課題である。

【0003】このようなプラズマ処理の現状について説明する。代表的なプラズマ処理を用いた膜堆積法であるプラズマCVD法を例にとると、堆積される膜として、代表的には、シリコンの多結晶薄膜、微結晶薄膜、非晶質薄膜、および酸化シリコン膜、窒化シリコン膜、珪化金属膜等のシリコン化合物膜などがある。プラズマCVD法における量産性を向上させるためには、成膜速度の増大と処理面積の大型化が必要となる。成膜速度を増大させるためには、高周波電力を高める、または原料ガスの供給量を増加させるなどが考えられる。一方、処理面積の大型化には、高周波電極の表面最大寸法が大きくなるほど、電極上で発生する定在波の影響が大きくなる問題が知られている。その結果、プラズマの面内均一性が悪くなるため、膜堆積の場合は膜厚や膜特性の面内均一性の悪化、エッチングの場合はエッチングレートの面内均一性の悪化を引き起してしまう。

【0004】膜厚および膜質の不均一化という問題を解決するため、特開昭62-130277号公報は、複数の区画に分割された高周波電圧印加平板電極を有し、かつ該電極の各区画に印加される高周波電圧を別々に制御するための電源装置を備えるプラズマCVD装置を開示する。そのような従来の装置は、図20に示すとおり、反応室201、分配器231、電力增幅器235、236および237を有する。反応室201には、分割電極240、241および242、ならびに上部電極212が配置されている。分割電極240、241および242には、それぞれ電源218から等しい高周波電圧が印加されるが、必要に応じて、電力增幅器の印加電圧を調整し、中央部分の分割電極と周辺端部の分割電極の電圧とを極くわずか変化させてよい。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかし、後述するように、上述した従来の装置においても、局的に処理効果（たとえば膜厚）が顕著に異なり得るという問題が見出された。

【0006】本発明の目的は、従来技術の問題を解決することができ、処理面積の大型化、処理速度の向上、および処理品質の向上が可能な、プラズマ処理装置およびプラズマ処理方法を提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明者らは、特開昭62-130277号公報に開示されているような、高周波電極を複数に分割する手法の効果について詳細な検討を行った。本発明者らは、図2に示すような、40cm角のステンレス鋼平板からなり、互いに10mm離間されている9つの小電極21～29からなる高周波電極を

有するプラズマ処理装置において、各々の小電極に100MHzの高周波電力を同出力かつ同位相となるように印加した時の電界強度分布を電磁界計算により求めた。ここで、図1に示すように、小電極面に直交する方向をx方向とし、x方向と直交する小電極面と平行の2方向をy方向、z方向とする。電磁界計算の結果得られたx方向の電界E_xの強度分布を図3に示す。複数の小電極から構成される高周波電極全体において中心付近（図3のA部）で電界が過大となる分布が生じる。これは、各々の小電極に印加される高周波の疊重により生じるものと考えられる。逆に、図3のB部に示すように、隣合う小電極同士の間隙では電界が過小となる。このことより、プラズマ処理の際に中心付近（A部）で過大なプラズマが発生し、間隙付近（B部）で過小なプラズマが発生することが予測される。このようなプラズマにより処理を行うと、処理の均一性や品質に問題が生じることは明らかである。そこで、A部での強い電界を弱めるため、中央の小電極25に、他の電極よりも小さい電力（他の電極に印加する電力の60%）を印加した。図4

20 に、本発明者らが電磁界計算から求めた、中央の小電極25に印加する電力を小さくしたときの、x方向の電界E_xの強度分布を示す。図3のA部に示すような過大な電界が抑制されており、より均一となる電界強度分布を得られることがわかる。

【0008】図4に示すような均一な電界分布と実際の膜厚分布との相関を調べるために、製膜実験を行った。その結果得られた膜厚分布を図5に示す。小電極面上に相当する部分の膜厚は、図4の計算結果と同様の均一な分布を示したが、隣合う小電極の間隙に相当するB部分では、膜厚が大きくなる傾向が見られた。図4の結果からは電界が小さいため膜厚が小さくなると予測されたが、逆の結果となった。

【0009】そこで、反応容器のポートより、高周波電極と被処理部材の間にラングミュアプローブを挿入し、小電極面上および隣合う小電極の間隙に相当するB部分において、プラズマ電子密度分布を測定したところ、図6に示すように、隣合う小電極の間隙に相当するB部分において、電子密度が大きくなっていることが分かった。

40 【0010】そこで、図4と同じ条件で計算した結果として、x方向の電界E_xのみならず、各小電極と平行のy方向の電界E_yおよびz方向の電界E_zをも含めた電界E=(E_x²+E_y²+E_z²)^{1/2}を図7に示す。電界Eは、隣合う小電極の間隙に相当するB部でむしろ強くなることが分かった。隣接する小電極にそれぞれ印加される高周波電圧の大きさが異なる場合、隣接する小電極間に電位差が生じるため、間隙部において強い電界が生じ、その結果、過大なプラズマが発生し、間隙部に対応する部分での膜厚が大きくなつたと考えられる。

【0011】上記問題を解決するため、本発明により、

反応容器内において高周波電圧の印加により発生させられたプラズマにより所定の部材に処理を行う装置が提供される。このプラズマ処理装置は、反応容器内に設けられた、互いに離された複数の小電極からなる、高周波電圧を印加するための電極と、複数の小電極の間に挿入され、プラズマが発生させられる雰囲気よりも高い誘電率を有する誘電体とを備える。この装置において、複数の小電極のうち少なくとも2つにそれぞれ印加される高周波電圧は、大きさが互いに異なるものであり、かつ誘電体の前記雰囲気に対向する面と複数の小電極の前記雰囲気に対向する面との距離を変えることができるよう、誘電体の一部または全部が、複数の小電極に対して相対的に移動可能に設けられる。それにより、複数の小電極によって印加される電界の強度分布が調節できる。

【0012】さらに、上記問題を解決するため、本発明により、反応容器内において高周波電圧の印加により発生させられたプラズマにより所定の部材に処理を行う方法が提供される。このプラズマ処理方法は、(a) 互いに離された複数の小電極からなる電極が高周波電圧を印加するために反応容器内に設けられ、かつプラズマが発生させられる雰囲気よりも高い誘電率を有する誘電体が複数の小電極の間に挿入された装置を使用することと、(b) 反応容器内にプラズマを発生させるための雰囲気を形成することと、(c) 複数の小電極にそれぞれ高周波電圧を印加することにより前記雰囲気から発生させられるプラズマを介して所定の部材を処理することとを備える。この方法において、複数の小電極のうち少なくとも2つにそれぞれ印加される高周波電圧は、大きさが互いに異なるものであり、かつ誘電体の前記雰囲気に対向する面と複数の小電極の前記雰囲気に対向する面との距離を変えることができるよう、誘電体の一部または全部が、複数の小電極に対して相対的に移動可能に設けられる。それにより、複数の小電極によって印加される電界の強度分布が調節できる。

【0013】典型的に、本発明において、誘電体の前記雰囲気に対向する面は、所定の部材にも対向している。

【0014】本発明において、複数の小電極から前記雰囲気の側に誘電体の一部または全部を突出させることができることが好ましい。その突出させる長さは、10mm以下であることが好ましく、たとえば1~10mmであることが好ましい。

【0015】本発明において、誘電体は、部分的に前記雰囲気に突出する形状を有することができる。本発明において、複数の小電極からプラズマ生成雰囲気の側に誘電体を突出させる長さは、部分的に異なっていてよい。

【0016】本発明において、誘電体は、複数の部分に分割することができ、該複数の部分のうち少なくとも1つを移動可能にすることができる。誘電体を複数に分割する場合、複数の小電極の各々に隣接して、当該複数の

部分の各々を、互いに離して設けることができる。誘電体の互いに隣接する複数の部分の間には、導電体、典型的には金属板を配置することができる。

【0017】好ましい態様において、誘電体の比誘電率は3以上50以下である。典型的に、誘電体の材質は、アルミナ磁器、石英、ガラス、ペリリア磁器、および炭化シリコン系磁器よりなる群から選ばれた少なくとも1種である。

【0018】好ましい態様において、複数の小電極の最大寸法は、高周波の波長の1/4以下である。本発明において、高周波電圧の周波数は典型的に20~500MHzの範囲にある。

【0019】本発明は、プラズマCVD、プラズマエッチング、あるいはプラズマによる表面改質等に適用される。特に、本発明による装置はプラズマCVD装置として好適であり、本発明による方法はプラズマCVD法として好適であるが、これらに限定されるものではない。

【0020】本発明によれば、たとえば、プラズマCVD法により、最大寸法が1m以上である基板上に10%以内の厚み分布で薄膜を形成することができる。そして、そのような基板上に形成された薄膜は、光電変換装置等の半導体装置を構成することができる。ここで「厚み分布」は、基板上に形成された薄膜を所定の数、たとえば81個に分割し、それらのフラグメントについて測定された膜厚の最大値および最小値から、式 $\{(最大値 - 最小値) / (最大値 + 最小値)\} \times 100\%$ により求めた値とすることができる。

【0021】

【発明の実施の形態】本発明によるプラズマ処理装置において、典型的に、誘電体のプラズマ発生雰囲気に対向する面は、誘電体の小電極に対向しない側の面であり、複数の小電極のプラズマ発生雰囲気に対向する面は、小電極の誘電体に対向しない側の面である。たとえば、本発明による電極は、図8に示す構造を有することができる。この電極は、小電極21~29から構成され、これらの小電極の間に誘電体6が配置されている。この電極において、誘電体のプラズマ発生雰囲気に対向する面はC面であり、小電極のプラズマ発生雰囲気に対向する面はD面である。C面とD面との距離はxで表される。

【0022】隣接する小電極にそれぞれ印加される高周波電圧の大きさが異なる場合、隣接する小電極間で電位差が生じる。このため、小電極同士の間隙部分、すなはち図9に示すE領域のような部分では、より強い電界(小電極面と平行のyもしくはz方向の電界)が生じる。その強い電界のために、間隙部に相当する部分でのプラズマ処理速度が大きくなり、処理の不均一が生じ得る。

【0023】そこで、間隙部に生じる電界を弱めるために、小電極間に誘電体を挿入する。挿入される誘電体は、比誘電率がほぼ1に等しい処理ガス(プラズマが生

成される雰囲気)より高い誘電率を有する。そのような誘電体は、電気力線を取込みやすく、誘電体の方に強い電界がかかるようになる。したがって、プラズマが発生する処理ガス中の電界が相対的に弱くなり、とりわけ、挿入した誘電体付近、すなわち隣接する小電極間にかかる過剰な電界を弱めることができる。その結果、プラズマの面内均一性が向上する。

【0024】さらに、本発明では、誘電体のプラズマ生成雰囲気に対向する面と複数の小電極のプラズマ生成雰囲気に対向する面との距離を変えることができよう、誘電体の一部または全部が、複数の小電極に対して相対的に移動可能に設けられる。そのような機構において、複数の小電極の間および/またはプラズマを生成させるため電圧が印加される空間に存在する誘電体の体積を変化させることができ、それにより、電極によって印加される電界の強度分布が調節できる。したがって、そのような機構は、プラズマ処理の条件に応じて、より適当な位置に誘電体を配置することができ、より望ましい電界強度の分布をもたらすことができる。

【0025】さらに本発明では、小電極から被処理部材側(プラズマが生成される空間側)に誘電体を突出させることができ。強い電界がかかる領域を突出した誘電体で占めることにより、当該領域における過度のプラズマ生成を防ぐことができる。

【0026】したがって、本発明では、小電極間の領域におけるプラズマ電子密度の増大を、より効果的に抑制することができ、プラズマ生成の均一性をさらに向上させることができる。特に、高周波プラズマにおける電離や解離反応がおきる主な領域は、プラズマのバルク部とシース部の境界付近にあるため、誘電体の突出長(小電極からプラズマ生成空間側に突出した誘電体の長さ)をシース長までの間で調節することで、プラズマの電離や解離反応量を調節でき、プラズマ電子密度の均一化、ひいてはプラズマ処理速度の均一化を図ることができる。典型的に、プロセスプラズマにおけるシース長は10m以下であるので、10mm以下の範囲、たとえば1~10mmの範囲で誘電体の突出長を調節することができる。

【0027】かくして本発明では、種々のプロセス条件に応じて、誘電体面と小電極面との相対的距離を容易に調節でき、それにより、均一な膜厚を得るのに適した条件を容易に得ることができる。さらに、電界が強くなる箇所、および弱くなる箇所に応じて、誘電体の配置を変え、プラズマ処理による効果を均一にすることができる。

【0028】また、本発明では、誘電体を複数の部分に分割してもよい。誘電体の部分を適当な位置に配置することで、電界を局所的に調整することができ、プラズマ処理による効果をさらに高めることができる。また、誘電体の分割は、装置構造の自由度を増加させることにな

り好ましい。

【0029】誘電体を複数の部分に分割する場合、各部分を移動可能としてもよいし、複数の部分の1つまたはいくつかを移動可能としてもよい。誘電体の部分のプラズマ生成雰囲気に対向する面と小電極のプラズマ生成雰囲気に対向する面との距離は、誘電体の部分を移動させることにより変化する。誘電体の部分を移動させるか、各部分の配置を異ならしめることによっても、プラズマ処理効果の均一性を向上させることができる。

【0030】誘電体を複数の部分に分割する場合、各部分を各小電極ごとに配置してもよい。各部分は、各小電極に隣接して配置することができる。たとえば、各部分は、各小電極を囲むよう配置することができる。各部分は、互いに離されていることが好ましい。さらに、誘電体の隣合う部分間に導電体、典型的には金属を配置してもよい。各部分は、互いに独立して移動可能にことができる。このような構造では、プロセス条件に応じて、各小電極ごとに誘電体の位置を調節することができ、その結果、必要以上に強い電界を各小電極ごとに抑制することができる。そのような構造も、均一なプラズマ処理効果に寄与し得る。

【0031】本発明では、誘電体の一部または全部を複数の小電極に対して相対的に移動させることができる。この場合、小電極を固定して、誘電体の一部または全部を移動させてもよいし、誘電体を固定して複数の小電極を移動させてもよい。移動は、手動でおこなってもよいし、自動的な機構を介して行なってもよい。典型的に、誘電体の一部または全部をスライドさせる機構により、誘電体と小電極との位置関係を調節することができる。

【0032】好ましい態様において、誘電体は、プラズマを生成させる雰囲気の誘電率より高い誘電率、耐プラズマ性、および耐熱性を有する。誘電体の比誘電率は3~5.0が好ましい。典型的に、誘電体の材質には、アルミニナ磁器、石英、ガラス、ベリリア磁器、および炭化シリコン系磁器がある。

【0033】また、本発明において、各小電極の最大寸法を、印加する高周波の波長の1/4以下とすることが好ましい。そのような寸法により、各小電極面上で定在波が発生することを防止でき、大きな面積の被処理部材に対して、より均一なプラズマ処理を施すことが可能となる。なお、被処理部材の最大寸法とは、被処理部材表面上の任意の2点間で最も長い距離をいう。たとえば、矩形平板状の部材の場合、対角線の長さが最大寸法となり、円盤状の部材の場合、直径が最大寸法に相当する。

【0034】各小電極に印加される高周波電圧の周波数を20~500MHzの範囲とすることで、プラズマ中の電子密度を増大させ、かつ、プラズマボテンシャルを低く抑えることができるので、処理の高速化と処理品質の向上が同時に可能となる。

【0035】本発明によるプラズマ処理装置ならびに

ラズマ処理方法は、典型的に、半導体装置の製造工程における膜堆積、エッティング、および表面改質等のプラズマ処理に適用される。本発明によれば、被処理面積の大型化、処理速度の向上および処理品質の向上をなし得る。本発明によれば、高性能の半導体装置を安価に製造できる。

【0036】以下、実施例により本発明をさらに説明する。実施例では、複数の角型および梯子型小電極に分割され、それらが平行に配置された、平板状の高周波電極を有するプラズマCVD装置を開示するが、本発明はそのような実施例に限定されるものではない。たとえば、小電極の形状は角型に限定されるものではなく、棒型、円板型、球状等でもよく、複数の小電極の配置も平行平板状に限定されるものではなく、格子状、同心円状などでもよい。また、プラズマ処理は、CVD等の膜堆積に限定されるものではなく、本発明をエッティングに適用しても、同様に処理品質を向上せしめることができる。

【0037】

【実施例】実施例1

本実施例に使用したプラズマCVD装置の略断面図を図1に示す。ガス導入手段51と真空排気手段52が接続されたステンレス鋼製の反応容器4内部に、複数の小電極21～29に分割されてなる平板状の高周波電極20と、被処理部材3を載置するステンレス鋼製の被処理部材配設部31とが互いに平行となるように対向して配置されている。高周波電極20と被処理部材配設部31は一対の電極をなす。反応容器4と被処理部材配設部31は電気的に接地されている。一方、小電極21～29からなる高周波電極20は反応容器4から電気的に絶縁されている。

【0038】図2は高周波電極20を構成する小電極21～29の斜視図である。各々の小電極は40cm角のステンレス鋼平板である。9つの小電極は、正方形状となるように配置され、平板状の高周波電極20が形成される。隣接する小電極同士は10mm離されている。図1に示すように、その間隙部に比誘電率9.7のアルミニナ磁器からなる誘電体6が配置される。小電極21～29は互いに電気的に分離されている。

【0039】図1に示すように、誘電体6は昇降機構7により、上下に昇降可能である。昇降機構7は高真真空導入端子により真空を破らずに手動で昇降可能な機構とした。昇降機構7は、誘電体6を小電極21～29に対して相対的に移動させるための手段である。昇降機構7により、誘電体6のプラズマ生成雰囲気に対向する面と小電極21～29のプラズマ生成雰囲気に対向する面との距離を変化させ、電界強度の分布を調節することができる。

【0040】本実施例における高周波電極と誘電体の斜視構造を図8に示す。誘電体6の表面(図8のC面)と小電極21～29の表面(図8のD面)の相対距離をx

mmで表わす。本実施例において、誘電体6の表面と小電極21～29の表面の相対距離は0mmとした。本実施例において誘電体6は、高周波電極20の間隙をほぼ完全に埋めている。誘電体6は、高周波電極20と接しておらず、かつ、アース電位である反応容器4の壁とも昇降機構7を通じて接している。しかし、誘電体が高周波電極および装置壁と接していることは、本発明にとって必須ではない。誘電体が高周波電極に接していない場合においても、あるいは装置壁に接していない場合においても、本発明の効果は得られる。

【0041】高周波電源1から発振された高周波電圧は、分配器8によって9本の高周波伝送線路に分配され、各々の高周波伝送線路ごとに設けられた電力調節器91～99、電力モニタ101～109および整合器111～119を経て、各々の小電極21～29に印加される。インダクタンス、キャパシタンス、抵抗からなる電気回路により構成された電力調節器91～99によって個別に調節された電力を、各小電極21～29ごとに設けられた電力モニタ101～109の値を読み取り、整合器111～119によって整合をとることで、各小電極21～29に印加される高周波電力が調節される。本実施例では、中央の小電極25に印加する電力を他の小電極に印加する電力に対し60%となる0.12Wcm⁻²とした。

【0042】本実施例では、原料ガスにモノシリコンと水素を用いて非晶質シリコン薄膜を製膜した。主な製膜条件は次の通りである。

被処理部材：ガラス基板(1m角)

総ガス流量：SiH₄ 1300sccm

30 H₂ 1800sccm

基板温度：200°C

高周波電力：0.12Wcm⁻² (小電極25)

0.2Wcm⁻² (小電極25以外)

周波数：100MHz

製膜圧力：50Pa

小電極と被処理部材との距離：40mm

1時間の製膜処理の後、非晶質シリコン薄膜が堆積されたガラス基板を反応容器4から取出した。図10に示すようにガラス基板から6cm角の81個のサンプルを切り出して膜厚測定用サンプルとした。図10において、斜線を引いた49個のサンプルは小電極面上のサンプルであり、白抜きの32個のサンプルは小電極の間隙部直上にあたるサンプルである。段差計を用いて、81個すべてのサンプルの中心部の膜厚を測定した結果、膜厚分布は10%となり、その平均膜厚は900nmであった。また、小電極面上の49個のサンプルだけでは、膜厚分布は6%であった。なお、膜厚分布は、所定の個数のサンプルについて式{(膜厚最大値-膜厚最小値) / (膜厚最大値+膜厚最小値)} × 100%により求めた。

【0043】比較例1

図1において誘電体6を取り除いた構造で、他の条件は実施例1と全く同じとし、製膜したサンプルの膜厚分布を実施例1と同様にして評価した。その結果、81個すべてのサンプルに対する膜厚分布は15%となった。また、小電極面上の49個のサンプルだけでは、膜厚分布は6%であった。

【0044】以下に示す全ての実施例、比較例においては、81個全てのサンプルに対する膜厚分布を示す。

【0045】実施例2～7

実施例1と同様の条件で、誘電体6を昇降させ、誘電体6の面と小電極21～29の面との相対距離を変化させたときの膜厚分布を図11に示す。誘電体面の位置について、小電極面を原点の0とし、被処理部材3に近づく向き(x方向)を正の方向として表わす。x=-0.5、0、5、1、2、3、4mmの6点でサンプルを作製した。その結果を図11に示す。図11には、誘電体面の位置0mmの実施例1、および誘電体の挿入されていない比較例1の結果も含めて表示しており、比較例1は便宜上誘電体面の位置-1mmにプロットした。

【0046】図11より、誘電体が挿入されていない比較例1と比べると、誘電体が挿入されることで、その膜厚分布は低減されることが分かった。図11より、電極面に対して誘電体が被処理部材方向に突出していることが望ましく、とりわけ、本実施例においては突出長が3mm以下である場合に、膜厚分布は10%以内と良好であり、突出長2mmのとき膜厚分布は最小で7%となった。また、突出長2mmのときの、小電極面上の49個のサンプルだけでは、膜厚分布は6%であった。したがって、適した突出長とすることによって、間隙部直上の膜厚の不均一はほとんどなくなっていることが分かる。

【0047】本実施例においては、誘電体の突出長が3mmを越えると、間隙部での膜厚が小電極面部での膜厚よりも小さくなかった。誘電体の突出長が大きくなるにしたがって、間隙部での膜厚が小さくなる傾向が得られた。誘電体の突出長を大きくすることで、隣接する小電極間にかかる電界(y、z方向の電界)を抑制する効果が大きくなっているためだと考えられる。

【0048】実施例1～7のプロセス条件下での、ラングミュアプローブによる小電極面上の電子密度を測定した結果、どの実施例においてもそのシース厚はおよそ3mmであった。高周波プラズマにおいて、電離や解離反応がおきる主な領域は、プラズマのバルク部とシース部の境界付近にあるため、誘電体の突出長をシース長までの間で調節することで、プラズマの電離や解離反応量を調節できると考えられる。

【0049】実施例8～12

製膜圧力を20Paとし、それ以外は実施例1と同様の条件で、誘電体6を昇降させ、誘電体6の面と小電極21～29の面との相対距離(図8に示す距離x)を変化

させた。誘電体面の位置は、小電極面を原点の0とし、被処理部材に近づく向き(x方向)を正の方向として表わし、x=0、5、8、10、12mmの5点でサンプルを作製した。

【0050】比較例2

比較例2として、誘電体6を取り除いた構造で、他の条件は実施例8～12と全く同じとし、製膜したサンプルの膜厚分布を評価した。

【0051】図12に、実施例8～12および誘電体の挿入されていない比較例2も含めた膜厚分布を表示する。比較例2は便宜上誘電体面の位置-1mmにプロットした。

【0052】図12より、実施例8～12においては突出長が8mmである場合に、膜厚分布が最小の7%となり、突出長が10mm以下の場合に膜厚分布は10%以内と良好な数値を示した。実施例8～12のプロセス条件下での、ラングミュアプローブによる小電極面上の電子密度を測定した結果、どの実施例においてもそのシース厚はおよそ10mmであった。

【0053】以上の結果より、膜厚分布が最小となる誘電体面と小電極面との相対距離は、プロセス条件に依存することが分かった。例えば、製膜圧力を下げるに、シース厚が大きくなるために、膜厚分布が最小となる誘電体面と小電極面との相対距離は大きくなり得る。したがって、誘電体面と小電極面との相対距離を調節する機構を備えることで、プロセス条件に応じて、膜厚の均一化のために最適な相対距離を得ることができる。また、その相対距離をシース厚程度までの間で調節することで、良好な膜厚分布を得ることができる。

【0054】実施例13

実施例1で用いた40cm角のステンレス鋼平板小電極21～29の代わりに、図13に示すようにステンレス鋼製の角型棒状材を溶接し、梯子型に加工した小電極121～129を用いた。梯子型小電極のサイズは40cm角であり、角型の棒状材の太さは15mm、隣接する棒状材間のギャップは15mmであった。実施例1と同様の条件で、誘電体6の突出長を膜厚分布が最小になるよう調節し、製膜した結果、膜厚分布は8%となった。

【0055】棒状材としては、角型に限ったものではなく、丸型でも薄板型でも可能である。また、梯子型電極

のように電極の両主面間で反応ガスが行き来する場合、電極の両主面において間隙部が過剰なプラズマを生じさせ、その結果、不均一なプラズマから生成した膜堆積層やエッチング層等が両主面に行き来することになり、プラズマ処理が不均一となる。したがって、電極の両主面にプラズマが生成する構成の場合、両主面において誘電体が電極よりもプラズマ側に突出していることが、より有効である。

【0056】実施例14

図14に示すように、高周波電極部に挿入される誘電体

6を、中央の小電極25のまわりの誘電体61とそれ以外の誘電体62に分割した。誘電体61にのみ昇降機構を設置し、誘電体62は小電極の側面に固定し、小電極面より2mm突出させた。実施例1と同様の条件において、誘電体61の小電極面からの突出長を調節した。この条件では、図14に示すように誘電体61を3mm小電極面より突出させたときに、実施例1~7よりもさらに膜厚の均一化が可能となり、膜厚分布は6%となった。

【0057】本実施例において、誘電体61のみを移動可能とするかわりに、誘電体61および誘電体62の両方に、被処理部材との距離を調節するための昇降機構を設置してもよい。

【0058】実施例15

図15に示すように、高周波電極に配置する誘電体を9つに分割した。誘電体161~169は、9つの小電極21~29の側面をそれぞれ囲むように設置される。さらに、誘電体161~169の側面をステンレス鋼製の平板131~139でそれぞれ囲んだ。ステンレス鋼製の平板131~139は、反応容器4の壁と同電位とした。本実施例において誘電体161~169は、高周波電極21~29と接しており、またステンレス鋼製の平板131~139とも接している。誘電体161~169には、それぞれに昇降機構が設置されており、独立して移動可能である。昇降機構を調節することで、小電極面より2mmの長さで誘電体161~169を突出させた。実施例1と同様の条件で、サンプルを作製したところ、サンプルの膜厚分布は7%となった。

【0059】この構造では、小電極ごとに、隣接する小電極間にかかる電界を抑制することができる。各誘電体部を小電極ごとに独立して配置することで、プロセス条件に応じて最適な電極-誘電体配置を設定することができる。

【0060】ここで、平板131~139を装置壁と同電位とすることは必須ではなく、隣接する小電極間にかかる強い電界を抑制することができる。たとえば、平板131~139に、ある一定の電圧を印加してもよいし、平板131~139を浮遊電位にしてもよい。また、誘電体131~169が高周波電極21~29および、ステンレス鋼製の平板131~139と接していることも、必須ではなく、小電極21~29に接していない場合も、ステンレス鋼製の平板131~139と接していない場合においても、本発明の効果は得られる。

【0061】実施例16~21

実施例1と同様の電極構造において、誘電体6を、比誘電率3のガラス、比誘電率3.8の石英、比誘電率6.5のペリリニア磁器、比誘電率50の炭化シリコン系磁器、比誘電率90の酸化チタン磁器に変更した。実施例1と同様の成膜条件下で、それぞれの材料において、誘

電体6面と小電極21~24面との相対距離を膜厚分布が最も小さくなるように設定した時の、サンプルの膜厚分布を図16に示す。図16には、実施例1の比誘電率9.7のアルミナ磁器および、比較例2の誘電体が挿入されていない比誘電率1の結果も合わせて図示した。

【0062】誘電体に強い電界がかかる、間隙部において強い電界がかかるのを防ぐことができるため、図16に示すように、誘電体が挿入されていない比誘電率1の場合よりも、各誘電体を挿入した場合に良好な膜厚分布を得ることができた。好ましくは、誘電体の比誘電率は3~50の範囲であり、その範囲では膜厚分布は10%以内と良好であった。

【0063】比誘電率が2程度のテフロン(R)樹脂も、耐プラズマ性を向上させる表面コート等を行なうことで使用することができる。

【0064】上述の各実施例においては、正方形の小電極もしくは梯子型の小電極を並べたものを使用したが、小電極の形状は、長方形、多角形、円形等種々の形状であってもよい。また、各小電極の最大寸法が印加する高周波電圧の波長の1/4以下である場合に、特に顕著な効果が得られる。

【0065】また、各実施例においては、1つの高周波電源から電力を分配して複数の小電極に印加したが、各電極ごとに、あるいはいくつかの小電極からなるグループごとに、電源を接続してもよい。

【0066】実施例22

本実施例では、図1に示すプラズマCVD装置を用いて、非晶質シリコン薄膜からなる光電変換層を形成することで、薄膜太陽電池を作製した。誘電体の小電極からの突出長は2mmとした。本実施例において作製した薄膜太陽電池の概略断面図を図17に示す。基板141として100cm角で厚さ1.1mmのガラス基板を用い、この上に透明電極142として、スパッタリング法によりZnOを約1μmの膜厚となるように形成した。その後、透明電極142が形成された側が複数の小電極からなる高周波電極に対向するように、基板141を図1に示すプラズマCVD装置の反応容器4内部に導入する。透明電極142の上に、膜厚30nmのp型非晶質シリコン薄膜143、膜厚300nmのi型非晶質シリコン薄膜144、膜厚30nmのn型非晶質シリコン薄膜145の順に製膜することで光電変換層を形成した。p、i、n型各々の非晶質シリコン薄膜の製膜条件を以下に示す。なお、印可した高周波の周波数は、いずれの場合も100MHzである。

【0067】p型非晶質シリコン薄膜の製膜条件

高周波電力: 0.03W/cm² (小電極25)

0.05W/cm² (小電極25以外)

原料ガス: SiH₄ 150sccm

H₂ 1500sccm

B₂H₆ (2.0% / H₂) 300sccm

50

製膜圧力: 50 Pa
 基板温度: 200°C
 小電極と被処理部材との距離: 40 mm
 誘電体の小電極からの突出長: 2 mm
 i型非晶質シリコン薄膜の製膜条件
 高周波電力: 0.12 W/cm² (小電極 25)
 0.2 W/cm² (小電極 25 以外)
 原料ガス: SiH₄ 600 sccm
 H₂ 900 sccm
 製膜圧力: 50 Pa
 基板温度: 200°C
 小電極と被処理部材との距離: 40 mm
 誘電体の小電極からの突出長: 2 mm
 n型非晶質シリコン薄膜の製膜条件
 高周波電力: 0.024 W/cm² (小電極 25)
 0.04 W/cm² (小電極 25 以外)
 原料ガス: SiH₄ 100 sccm
 H₂ 1200 sccm
 PH₃ (2.0% / H₂) 100 sccm
 製膜圧力: 50 Pa
 基板温度: 200°C
 小電極と被処理部材との距離: 40 mm
 誘電体の小電極からの突出長: 2 mm
 反応容器から基板 141 を取り出した後、裏面電極 146 として、スパッタリング法により Ag を 300 nm の厚さとなるように形成した。裏面電極 146 は、光電変換層を一旦透過した光を反射させることで、発電効率を改善する役割をも有している。

【0068】1枚のガラス基板当たり、9個×9個の単位セル(4 cm角)を作製し、その光電変換効率の分布を測定した。図18は、81個の単位セルにおける光電変換効率の平均値を1とした時の、そのバラツキを示したものである。

【0069】比較例3

図1に示したプラズマCVD装置において、誘電体6を取り除いた構造で、実施例2と同様の条件下、製膜を行なった。得られた81個の単位セルにおける光電変換効率のバラツキを、図19に示す。

【0070】本発明のプラズマCVD装置を用いて作製した薄膜太陽電池の光電変換効率のバラツキは小さく、本発明のプラズマCVD装置およびプラズマCVD方法により、歩留の向上をなし得ることが確認できた。

【0071】本実施例では、本発明のプラズマCVD装置およびプラズマCVD方法を、非晶質シリコン薄膜を光電変換層とする薄膜太陽電池の製造プロセスに適用したが、本発明の用途はこれに限らない。例えば、多結晶シリコン薄膜の製膜、あるいは非晶質シリコン薄膜や多結晶シリコン薄膜のエッチング等においても、本発明を使用することにより、半導体装置の大型化や処理能力向上に対応した被処理面積の大型化や処理速度の向上、お

より処理品質の向上が可能である。このように本発明により、膜堆積やエッチング等のプラズマ処理工程において、歩留まり、信頼性、量産性を向上させることができる。本発明は、薄膜太陽電池の製造プロセスのみならず、薄膜トランジスタ等の製造プロセスにも適用できる。

【0072】

【発明の効果】上述してきたように、本発明によれば、複数の小電極に大きな異なる高周波電圧を印加する装置において、プロセス条件に合わせて、誘電体面と小電極面との相対距離を調節し、過剰な電界の印加を制御することができる。本発明によれば、局的に過剰に生成されるプラズマを制御することで、プロセス条件に応じて、最適なプラズマ処理効果)を容易に得ることができる。

【0073】本発明により、半導体装置製造プロセスにおける製膜工程およびエッチング工程等において、半導体装置の大型化や処理能力向上に対応した被処理面積の大型化や処理速度の向上、および処理品質の向上が可能であり、その結果、歩留まり、信頼性、および量産性を向上させることが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の1つの態様であるプラズマCVD装置の概略断面図である。

【図2】 プラズマCVD装置において高周波電圧を印加する小電極を示す斜視図である。

【図3】 従来のプラズマCVD法における高周波電極から被処理部材へと向かう電界の強度分布を示す図である。

【図4】 プラズマCVD装置において複数の小電極に異なる大きさの高周波電圧を印加した場合の、高周波電極から被処理部材へと向かう電界の強度分布を示す図である。

【図5】 図4に示す場合の、堆積したサンプルの膜厚分布を示す図である。

【図6】 図4に示す場合の、プラズマCVD装置におけるプラズマ電子密度分布を示す図である。

【図7】 図4に示す場合の、高周波電極面上の電界強度分布を示す図である。

【図8】 本発明による高周波電極と誘電体の配置を示す斜視図である。

【図9】 プラズマCVD装置の概略断面図である。

【図10】 成膜した基板からのサンプル切り出し箇所を示す図である。

【図11】 実施例1～7および比較例1にかかる誘電体の小電極面よりの突出長と膜厚分布との関係を示す図である。

【図12】 実施例8～12および比較例2にかかる誘電体の小電極面よりの突出長と膜厚分布との関係を示す図である。

【図13】 梯子型小電極からなる高周波電極を示す斜視図である。

【図14】 本発明によるもう一つの高周波電極-誘電体構造を示す斜視図である。

【図15】 本発明による他の高周波電極-誘電体構造を示す平面図である。

【図16】 高周波電極の間隙に挿入する誘電体の比誘電率と膜厚分布との関係を示す図である。

【図17】 実施例22で作製された薄膜太陽電池の概略断面図である。

【図18】 実施例22で作製された薄膜太陽電池における光電変換効率のバラツキを示す図である。

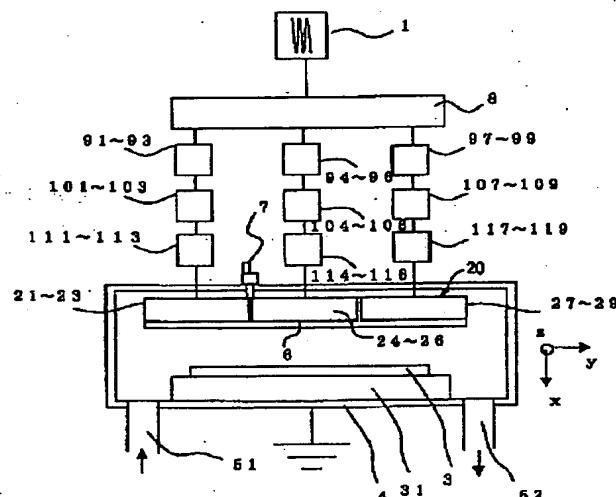
【図19】 比較例3で作製された薄膜太陽電池における光電変換効率のバラツキを示す図である。 *

* 【図20】 従来のプラズマCVD装置の概略断面図である。

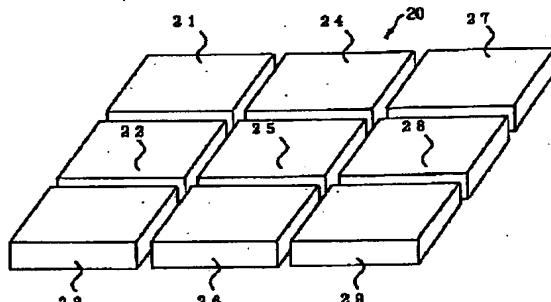
【符号の説明】

1 高周波電源、3 被処理部材、4 反応容器、6, 61, 62, 161~169 誘電体、8 分配器、20 高周波電極、21~29 小電極、31 被処理部材配設部、51 ガス導入手段、52 ガス排気手段、91~99 電力調節器、101~109 電力モニタ、111~119 整合器、121~129 梯子型小電極、131~139 ステンレス鋼製の平板、141 ガラス基板、142 透明電極、143 p型非晶質シリコン薄膜、144 i型非晶質シリコン薄膜、145 n型非晶質シリコン薄膜、146 裏面電極。

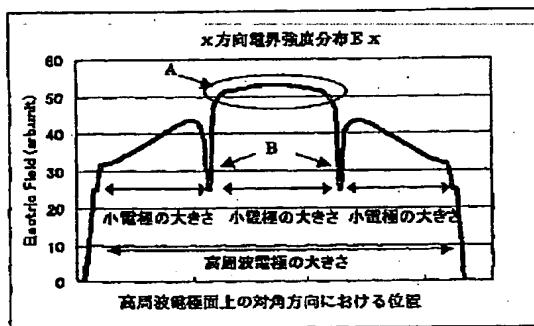
【図1】



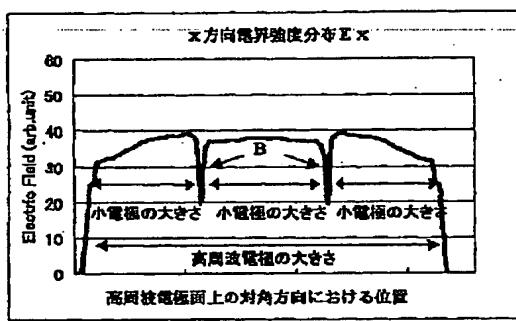
【図2】



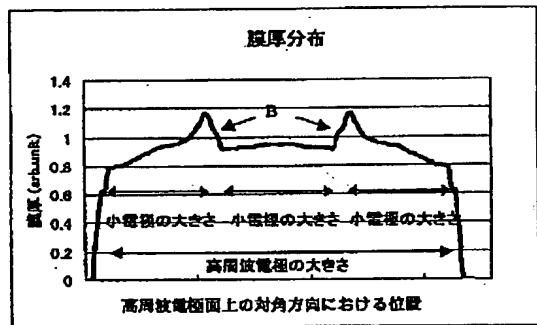
【図3】



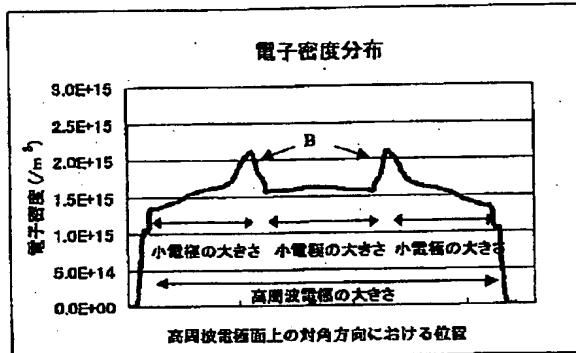
【図4】



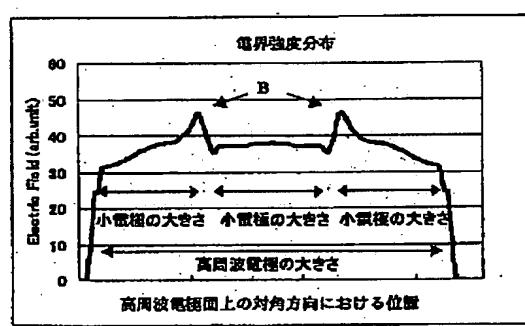
【図5】



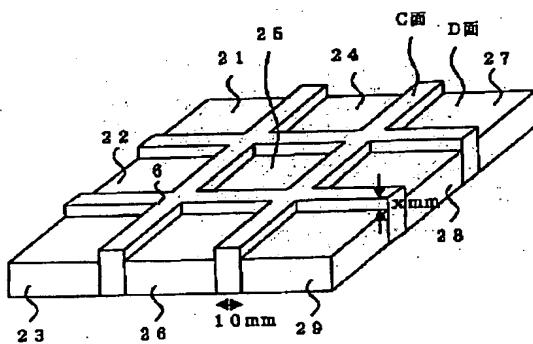
【図6】



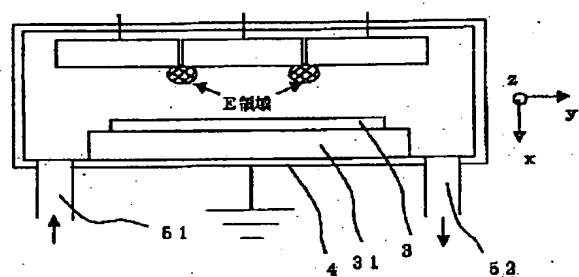
【図7】



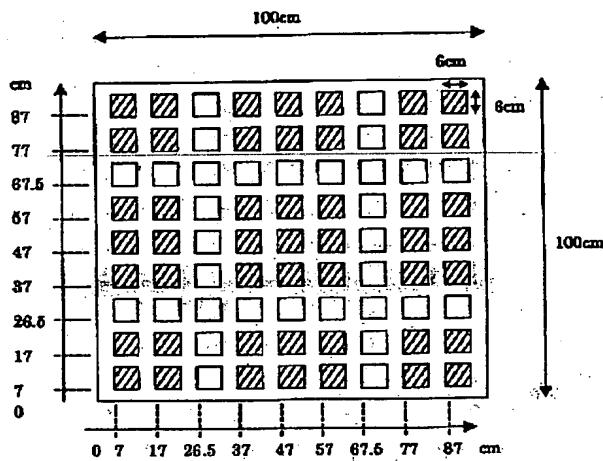
【図8】



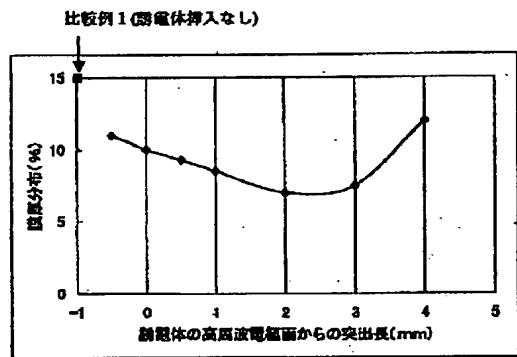
【図9】



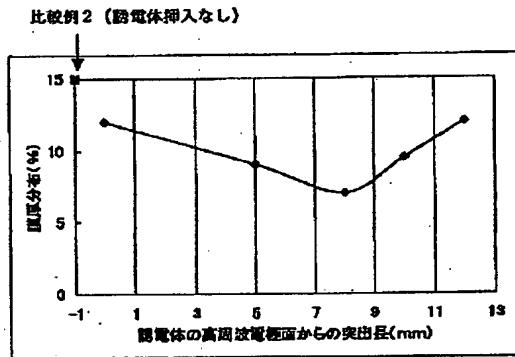
【図10】



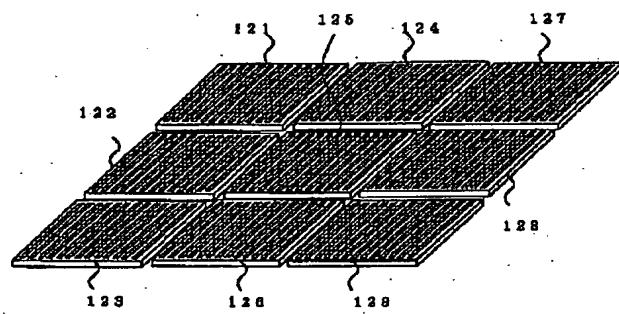
【図11】



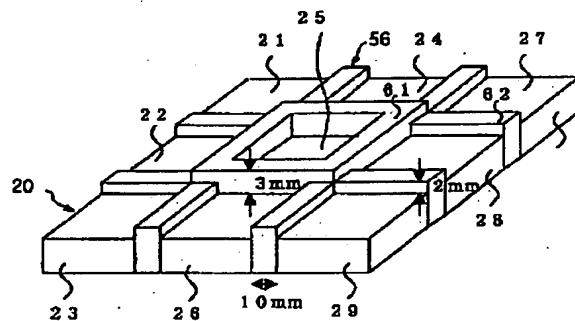
【図12】



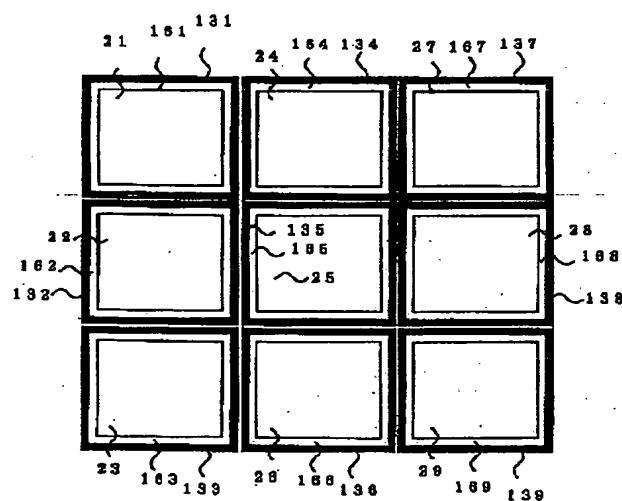
【図13】



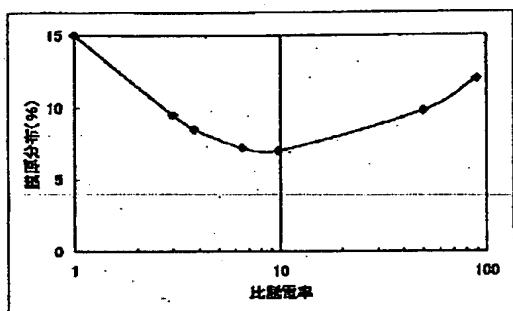
【図14】



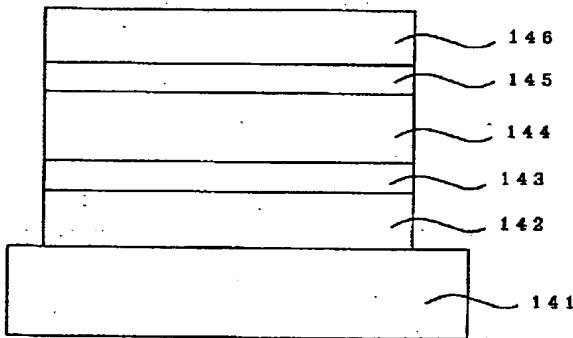
【図15】



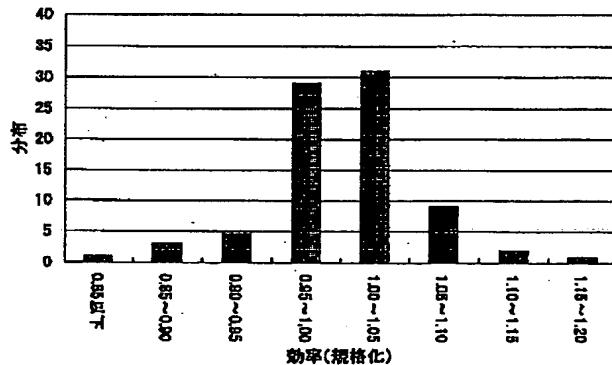
【図16】



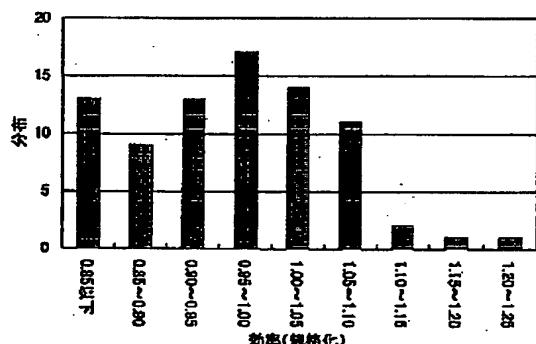
【図17】



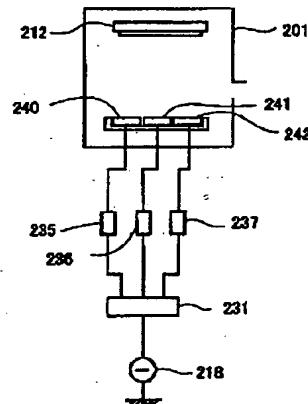
【図18】



【図19】



【図20】



フロントページの続き

(72)発明者 森田 春雪
大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ
ヤープ株式会社内

F ターム(参考) 4G075 AA24 AA30 BC04 BC06 BD14
CA47 EC21
4K030 AA06 AA17 BA30 CA06 FA03
JA03 JA18 KA30 LA16 LA18
5F004 BA06 BA07 BB11 CA05 DB02
DB30
5F045 AA08 AB04 AC01 AF07 BB01
CA13 DP02 EH04 EH08 EH14
EH19 EH20